# Chaufferie bois Alimentant le réseau de chaleur communal

## *Etude détaillée*

***des consommations d'électricité***

**Juin 2012**

# SOMMAIRE

**1 Le site ..... 3**

*1.1 Présentation ..... 3*

*1.2 Description de l'installation électrique ..... 3*

*1.3 Caractéristiques électriques de la chaudière bois et des pompes ..... 3*

**2 Méthodologie de mesure ..... 4**

*2.1 Annualisation des consommations et décomposition de l'abonnement ..... 4*

**3 Analyse globale de la consommation d'énergie ..... 8**

*3.1 Electricité ..... 8*

*3.2 Qualité de l'alimentation et de l'équilibrage des phases ..... 8*

*3.3 Optimisation de l'abonnement ..... 9*

*3.4 Consommation de bois déchiqueté et de fioul ..... 9*

3.4.1 Valeurs retenues de production de chaleur ..... 10

3.4.2 Evolution des consommations de chaleur et rendement de distribution ..... 11

*3.5 Consommation d'électricité par usage ..... 13*

*3.6 Consommation d'électricité par mois ..... 14*

**4 Détail des consommations d'électricité ..... 15**

*4.1 Chaufferie Bois déchiqueté ..... 15*

*4.2 Pompes secondaires ..... 17*

**5 Gisement d'Economies ..... 18**

*5.1 Pompes secondaires ..... 18*

5.1.1 Pompes Hôpital ..... 18

5.1.2 Pompes Autres bâtiments et circuits particuliers ..... 19

5.1.3 Remplacement par des pompes technologie ECM ..... 20

*5.2 Chaudière Bois ..... 20*

5.2.1 Ventilateur air Combustion ..... 20

5.2.2 Ventilateur gaz fumée ..... 20

5.2.3 Pompe charge chaudière bois ..... 21

5.2.4 Autre organes ..... 21

**6 Bilan ..... 22**

# 1 LE SITE

## 1.1 Présentation

La chaufferie alimentant le réseau de chaleur de Tramayes est équipée d'une chaudière SCHMID à plaquettes de bois de puissance 1.2 MW et d'une chaudière fioul De Dietrich de 495 kW en relève.

Mise en service en novembre 2006, elle alimente 3 réseaux de chaleur :

- réseau hôpital (depuis 2006) : capacité échangeur = 600 kW
- réseau autres bâtiments salle des fêtes, école maternelle, mairie avec les ateliers municipaux et les vestiaires de la salle omnisport (depuis 2006) : capacité totale des échangeurs = 300 kW
- réseau « particuliers » (école élémentaire, maison des associations, bibliothèque, maison de la poste ainsi qu'une vingtaine de logements de particuliers) depuis décembre 2010 : capacité totale des échangeurs = 300 kW

## 1.2 Description de l'installation électrique

Le site est alimenté par un compteur tarif jaune Moyenne utilisation 36 kVA. Un tableau général basse tension (TGBT) alimente les organes externes de la chaudière (essentiellement les pompes des trois réseaux de chaleur, les pompes du circuit primaire et la chaudière fioul) et l'armoire de commande de la chaudière bois.

## 1.3 Caractéristiques électriques de la chaudière bois et des pompes

Le tableau ci-après détaille la puissance électrique des organes principaux de la chaufferie bois. On notera que le ventilateur d'extraction des fumées est équipé d'un variateur de fréquence. Le plan de principe de la chaufferie est présenté en annexe 1.

| Organes Annexes | |
|---|---|
| Organe | Puissance (W) |
| Pompe réseau hopital | 3000 |
| Pompe réseau autres batiment | 3000 |
| Pompe réseau lotissement/ecole | 2200 |
| Pompe primaire chaudière fioul | 500 |
| Pompe primaire chaudière bois | 1500 |

| chaudière Schmid | |
|---|---|
| Organe | Puissance (W) |
| Compresseur | 1800 |
| circulateur principale refroidissement | 240-290-430 |
| ventilateur fumée | 5500 |
| ventilateur combustion | 4000 |
| pompe hydrau alim | 4000 |
| chaine transport | 1500 |
| égaliseur sortie silo | 1100 |
| pompe hydrau extracteur | 5500 |
| pompe hydrau grille foyer | 370 |
| vis décendrage inclinée | 1100 |
| vis décendrage grille foyer | 250 |
| vis décendrage multi cyclone | 250 |

# 2 METHODOLOGIE DE MESURE

La méthodologie de mesure a consisté à enregistrer pendant 7 mois la quasi totalité des départs électriques du TGBT et de l'armoire de commande de la chaudière bois. Les enregistrements sur 36 voies de mesures ont été effectués du 07 juillet 2011 au 06 février 2012. Le pas de temps des mesures est de 10 minutes. Les mesures de consommations d'énergie sont réalisées avec le système MULTIVOIES (http://mv.omegawatt.fr).

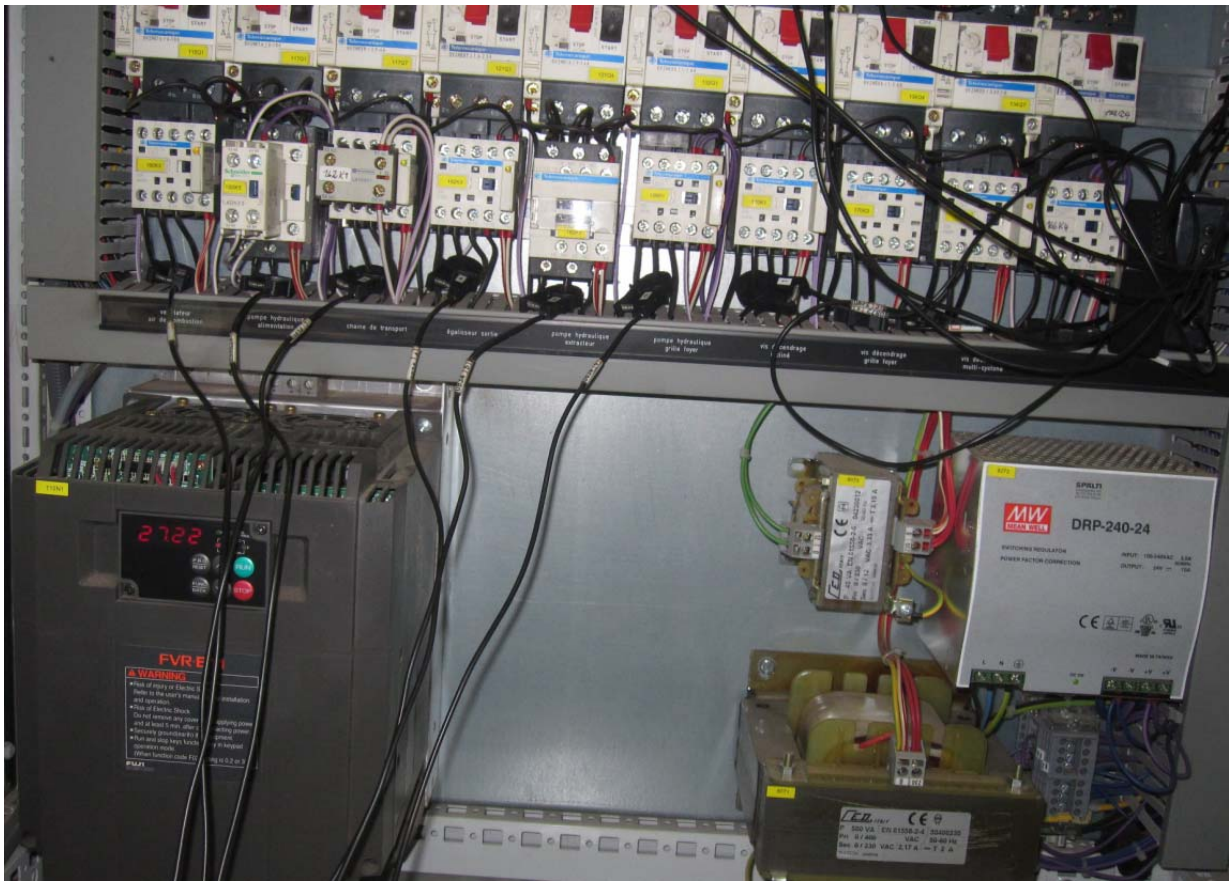



*Figure 1 : Tableau chaudière bois instrumenté avec le matériel MULTIVOIES*

**Grâce à l'exhaustivité des mesures, nous avons pu reconstituer 100% de la courbe de charge.**

## 2.1 Annualisation des consommations et décomposition de l'abonnement

Afin d'annualiser les résultats de mesure détaillées, nous avons considéré que :

- les réseaux de chaleur « autres bâtiments » d'une part et « particuliers » d'autre part sont alimentés du 15 septembre au 15 juin.
- La chaufferie bois et le réseau hôpital ne sont arrêtés pour maintenance annuelle que pendant 3 semaines entre fin août et mi septembre.

Par ailleurs, nous avons logiquement constaté que certains organes ont une consommation variable en fonction de la production thermique de la chaufferie, essentiellement en fonction de la température extérieur (sauf pour la période mi juin à fin août pendant laquelle seule la production d'eau chaude de l'hôpital est

assurée). A partir des données de mesure et des données de température enregistrées à la station météo France de Mâcon, nous avons établi une loi empirique entre la puissance moyenne du Ventilateur gaz fumées (consommateur principal, piloté avec un variateur de fréquence en fonction de la puissance nécessaire de la chaudière) et l'écart entre la température moyenne journalière extérieure mesurée à Mâcon et une consigne de température intérieur pour les bâtiments de 20°C.

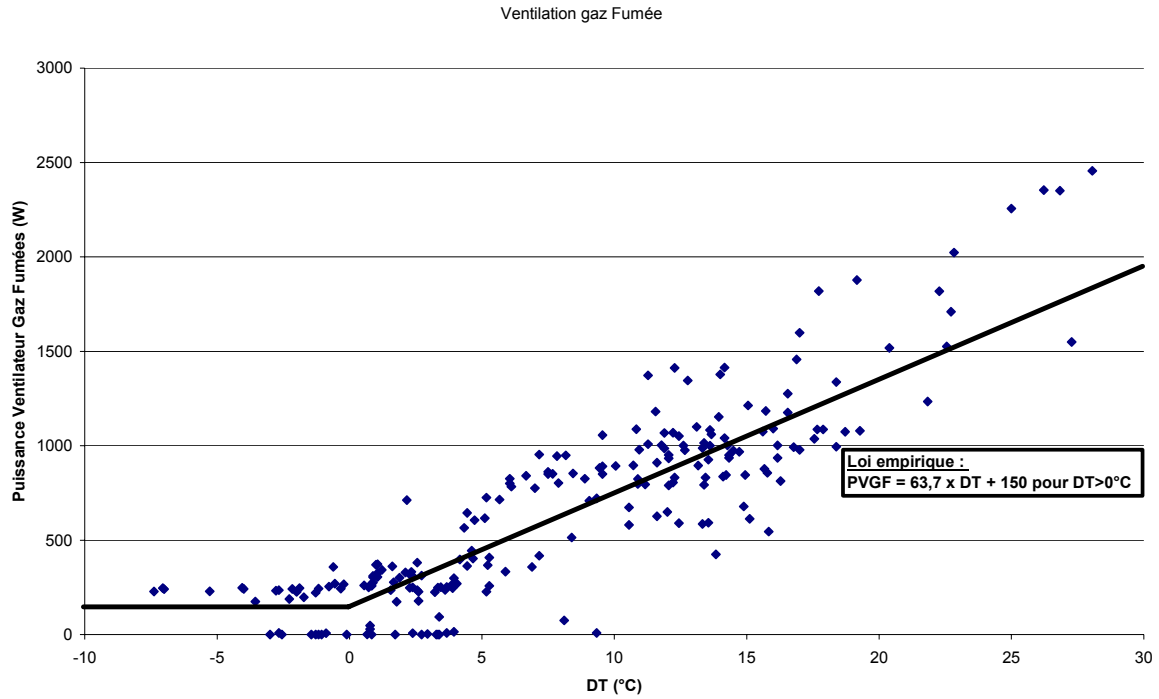



*Figure 2 : évaluation de la puissance de ventilation gaz fumée en fonction de l' écart de température entre l'extérieur et à l'intérieur d'un bâtiment maintenu à 20°C*

Cette loi a été ajustée de sorte que l'on puisse reconstituer la consommation du ventilateur effectivement constatée sur la période de mesure (voir graphique ci-avant).

Le ventilateur d'apport d'air neuf pour la combustion a un fonctionnement tout ou rien. Nous avons toutefois constaté une légère variation de sa puissance de fonctionnement lorsque la chaudière est chargée et que le ventilateur gaz fumées a une puissance plus importante (consigne plus élevée sur le variateur de fréquence). Ainsi en appelant plus d'air à l'extraction, on réduit les pertes de charge pour le ventilateur d'air neuf, ce qui a pour conséquence d'augmenter le débit d'air neuf et la puissance du ventilateur d'apport d'air neuf.

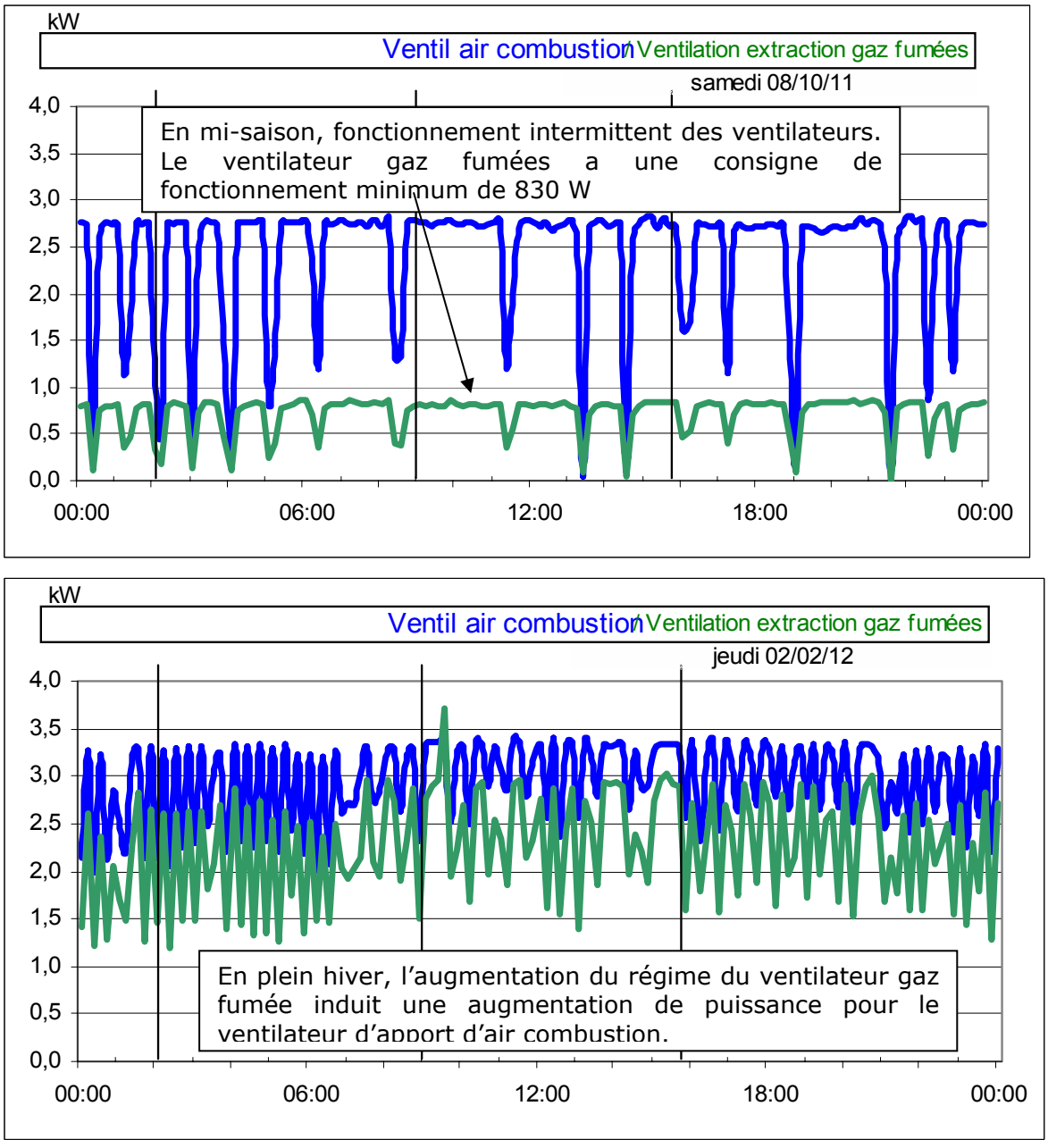



*Figure 3 : Courbes de charge types des ventilateurs air combustion et extraction gaz fumée en mi saison et en pleine saison de chauffage*

On définit ainsi une loi empirique entre la puissance moyenne journalière du ventilateur air neuf combustion et celle du ventilateur gaz fumée.
$P_{Ventil\text{-}Combustion} = 2.92 \times P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$. $P_{Ventil\text{-}Combustion}$ est plafonnée à 3050 W.

Par analogie, on procède de même pour d'autres organes de la chaudière qui dépendent également de la production thermique de la chaudière et dont la puissance peut par conséquent être également reliée à la puissance du ventilateur gaz fumées par une loi analogue.

$P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}Alimentation}$ = 0.96 x $P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$ . $P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}Alimentation}$ plafonnée à 1000W.

$P_{Chaine\text{-}transport}$ = 0.058 x $P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$ . $P_{Chaine\text{-}transport}$ plafonnée à 100W.

$P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}extracteur}$ = 0.15 x $P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$ . $P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}extracteur}$ plafonnée à 275W.

$P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}grille\ foyer}$ = 0.96x $P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$ . $P_{Pompe\text{-}Hydrau\text{-}grille\ foyer}$ plafonnée à 36 W.

Pour annualiser ces consommations, on utilise les valeurs de températures moyennes journalières constatées à la station Météo France de Mâcon depuis 1973, pour calculer pour une année type les consommations des différents organes : $P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées}$ , $P_{Ventil\text{-}Combustion}$…….
On tient compte dans ce calcul de l'arrêt de certains organes entre juin et septembre comme indiqué au début du 2.1.

Les coûts d'abonnement sont répartis au prorata des consommations de chaque organe car puissance souscrite de 36 kVA n'est jamais atteinte et il n'est pas possible de la diminuer pour l'optimiser car c'est la puissance minimale à souscrire en tarif jaune (26 kVA max selon compteur ERDF et 17 kVA moyennés à 10 minutes selon nos mesures).

# 3 ANALYSE GLOBALE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE

***L'ensemble des coûts mentionnés dans cette étude est exprimé en euros TTC. Pour les calculs des coûts de l'électricité cela comprend :***

- *Le total HT de la facture actualisé à partir du tarif réglementé jaune de juillet 2011*
- *Les taxes locales sur l'électricité calculées sur la base de 80% du montant HT de la facture. (8% pour la part communale et 4% pour la part départementale)*
- *La CSPE, contribution au service public de l'électricité, 0.0075 € / kWh consommé.*
- *La TVA de 5.5% sur l'abonnement et de 19.6% sur les consommations.*

## 3.1 Electricité

Sur la base des données de facturation de début 2008 à début 2012, on estime que la consommation moyenne annuelle d'électricité du site s'établit (avant installation du variateur de fréquence sur la pompe hôpital) à **98.9 MWh** en augmentation d'environ 16 MWh par rapport à la moyenne des consommations de 2007 à 2010 liée à la mise en service du réseau de chaleur « particuliers ».

La facture actuelle se décompose de la façon suivante :

| | | |
|---|---|---|
| Abonnement Jaune MU | 36 kVA | 1 344 € |
| Consommation HPH | 21 236 kWh | 2 932 € |
| Consommation HCH | 10 618 kWh | 1 054 € |
| Consommation HPE | 44 720 kWh | 2 735 € |
| Consommation HCE | 22 360 kWh | 1 032 € |
| Consommation annuelle | **98 934 kWh** | **9 097 €** |

## 3.2 Qualité de l'alimentation et de l'équilibrage des phases

La qualité d'alimentation de l'installation électrique est bonne. Les quelques valeurs basses de tension indiquées dans le tableau ci-dessous correspondent à des coupures électriques d'une durée totale de 6h30 sur 7 mois de mesures. Le reste du temps la tension est stable entre 230 et 235 V.

| tension (V) P1 (moyennée à 10 min) | coupure | < | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | > |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | 253 | 253 |
| Nombre d'occurence | 13 | 18 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2076 | 18162 | 162 | 0 | 0 |
| % d'occurence | 0,1% | 0,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 10,2% | 88,9% | 0,8% | 0,0% | 0,0% |

*Période du 16/09/2011 au 07/02/2012*

| tension (V) P2 (moyennée à 10 min) | coupure | < | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | > |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | 253 | 253 |
| Nombre d'occurence | 14 | 17 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2351 | 17918 | 131 | 0 | 0 |
| % d'occurence | 0,1% | 0,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 11,5% | 87,7% | 0,6% | 0,0% | 0,0% |

*Période du 16/09/2011 au 07/02/2012*

| tension (V) P3 (moyennée à 10 min) | coupure | < | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | > |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 207 | 219 | 230 | 237 | 244 | 253 | 253 |
| Nombre d'occurence | 13 | 18 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2179 | 18092 | 129 | 0 | 0 |
| % d'occurence | 0,1% | 0,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 10,7% | 88,5% | 0,6% | 0,0% | 0,0% |

*Période du 16/09/2011 au 07/02/2012*

*Tableau 1 : Distribution des tensions mesurées*

### 3.3 Optimisation de l'abonnement

La puissance souscrite est le minimum possible en tarif jaune, soit 36 kVA. Bien que les puissances maximales atteintes (26 kVA en instantané selon le compteur ERDF et 17 kVA moyennés à 10 minutes selon les mesures OmégaWatt) soit largement plus faibles que la puissance souscrite, il n'est pas intéressant de passer à une puissance souscrite plus faible. En effet, le passage à un abonnement 24 kVA HC/HP tarif bleu permettrait de réduire de 800 € TTC par an le coût d'abonnement, mais augmenterait de 4 200 € les consommations. En outre le passage de tarif bleu à tarif jaune est facturé par ERDF entre 2000 et 4000 € TTC.

**L'abonnement est donc bien adapté au site.**

### 3.4 Consommation de bois déchiqueté et de fioul

Bien que hors du périmètre de l'étude, une analyse des productions de chaleur, consommations des bâtiments et rendement de distribution a été réalisée pour déterminer la production de chaleur de référence de l'installation, utile pour calculer la part relative de la consommation d'électricité. Les enseignements de cette analyse sont fournis ci-après.

L'analyse du rendement de la chaufferie (MWh/tonnes de bois) n'a pas été réalisée.

Selon les relevés des compteurs de chaleur de la chaufferie et du compteur volumétrique de fioul de la chaudière de secours de l'hôpital, la consommation sur la période du 1er avril 2011 au 31 mars 2012 est de 1 712 MWh contre 1293 MWh en moyenne entre 2007 et 2010.

| | moyenne 2007-2010 | 2011 | Evolution |
|---|---|---|---|
| conso bois (MWh) | 1 180 | 1 360 | +15% |
| conso fuel (MWh) | 60 | 291 | +386% |
| conso fuel hopital (Mwh, rdnt chaufferie =0,85) | 53 | 61 | +15% |
| Total MWh distribués | 1 293 | 1 712 | +32% |

*Tableau 2 : Evolution de la production de chaleur distribuée par les chaufferies principales et annexe hôpital du réseau de chaleur*
*(Source : relevés des compteurs par la commune)*

### *3.4.1 Valeurs retenues de production de chaleur*

Selon les mesures détaillées des consommations d'électricité, la chaudière fioul a globalement très peu fonctionné. Elle a fonctionné uniquement lors des pannes de la chaudière bois en allure 1 ($P_{élec}$ brûleur ~ 500 W) jusqu'à fin décembre et an allure 2 ($P_{élec}$ brûleur ~ 1000 W) à partir de janvier.

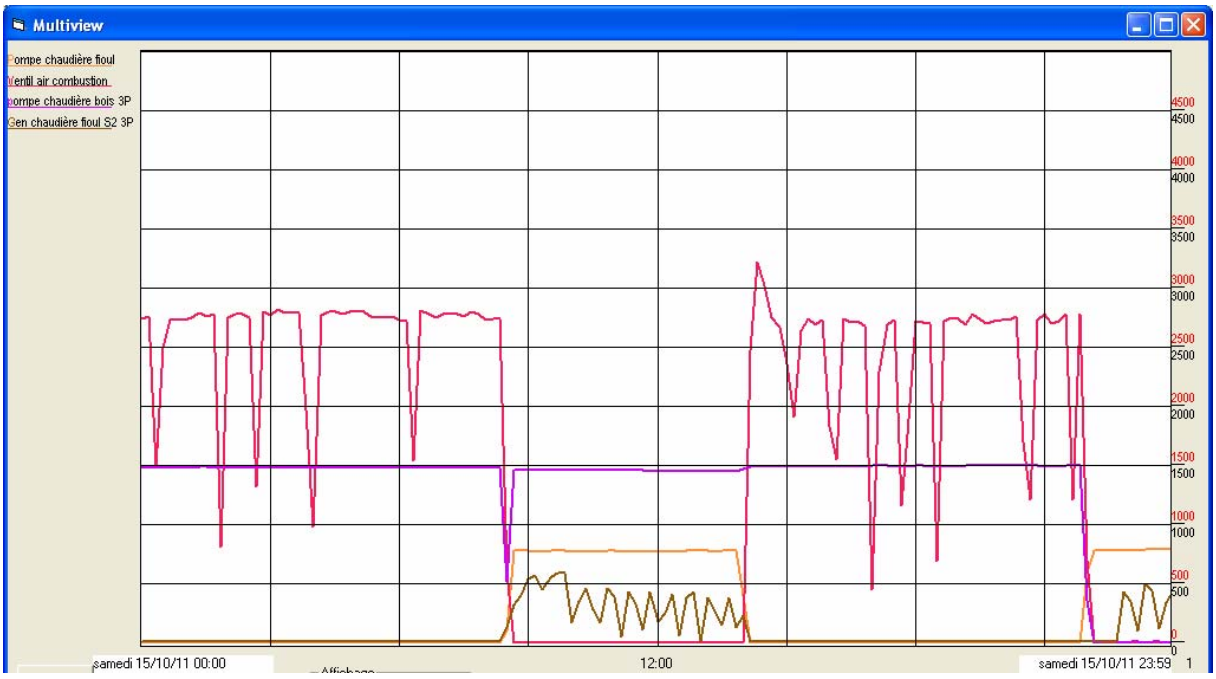



*Figure 4 : Courbes de charge électriques indiquant la mise en route de la chaudière fioul lors d'une panne de la chaudière bois (Ventil air combustion correspond à l'alimentation en air frais du foyer de la chaudière bois)*

Le tableau suivant indique la production de chaleur à partir de la chaudière fioul constatée par le compteur entre juillet 2011 et fin janvier 2012 et celle estimée à partir des données de consommations électriques de la chaudière fioul (on calcul le temps de fonctionnement du brûleur à allure 1 et 2 que l'on fixe à partir des données chaudière à 300 et 495 kW thermique).

| Mois | Heures marche chaud fioul | Heures marche pompe fioul seule ou avec chaud. bois | Prod. selon compteur (MWh fioul) | Prod calculée (MWh fioul) |
|---|---|---|---|---|
| juil-11 | 1 | 109 | 10 | 0 |
| août-11 | 0 | 53 | 5 | 0 |
| sept-11 | 9 | 320 | 128 | 3 |
| oct-11 | 55 | 303 | 82 | 16 |
| nov-11 | 13 | 27 | 11 | 4 |
| déc-11 | 31 | 35 | 17 | 9 |
| janv-12 | 49 | 83 | 36 | 24 |
| **Total** | **159** | **930** | **289** | **57** |

*Tableau 3 : Nombre d'heures de fonctionnement de la pompe de charge chaudière fioul et consommations de fioul associées*

On constate qu'il n'est pas possible que la chaudière ait produit autant de MWh étant donné le peu de temps de fonctionnement. Sur ces 2 mois, on constate des valeurs particulièrement importantes de production de chaleur sur le compteur (voir également les graphique en annexe 2) qui nous semble être liées au caclulateur ou aux sondes de température.

Ce point peut être vérifié aisément dans un premier temps en rapprochant la consommation en litres de fioul de la chaufferie avec les données de productions en MWh du compteur de chaleur fioul. Une vérification du compteur pourra alors être entrepris si la démarche précédente confirme l'incohérence des données.

Enfin, le tableau ci-avant met également en évidence que la pompe de charge de la chaudière fioul s'est mise en route assez souvent sans que la chaudière fioul ne fonctionne et certaines fois sur de longues périodes, notamment en septembre et octobre (par exemple du 15/09/2011 à 11:00 au 10/10/2011 à 18 :40).

Pour l'étude, on retient donc une valeur de 69 MWh/an pour la production de chaleur de référence pour le fioul chaufferie calculée sur la base de la valeur observée en 2008-2010 et augmentée de 15 % conformément à ce que nous avons observé pour les 2 autres sources d'énergie du réseau de chaleur en 2011-2012 (bois et fioul à l'hôpital) avec le 3e réseau de chaleur en service.

| | Référence |
|---|---|
| conso bois (MWh) | 1 360 |
| conso fuel (MWh) | 69 |
| conso fuel hopital (Mwh, rdnt chaufferie =0,85) | 61 |
| **Total MWh distribués** | **1 490** |

*Tableau 4 : Production de chaleur de référence distribuée par les chaufferies principales et annexe hôpital du réseau de chaleur (Source : relevés des compteurs par la commune)*

### *3.4.2 Evolution des consommations de chaleur et rendement de distribution*

Selon le relevé de puissances des échangeurs installés, le nouveau circuit «particuliers » ajoute environ 290 kW de consommateurs aux 908 kW existant sur les 2 premiers circuits, soit une hausse de 32%.

A l'inverse, la période de référence de l'étude (1/4/2011-31/03/12) est globalement plus chaude que la moyenne des 3 années précédentes (DJU annuel inférieur de 15 %, DJU = Degrés Jours Unifiés pour Tint=19°C).

Il semble donc cohérent que la production de chaleur ait augmenté de 15 % entre 2007-2010 et 2011.

Toutefois, nous avons constaté une réduction des consommations sur les bâtiments communaux et l'hôpital de 28 %, cad bien supérieure aux 15 % sur les DJU annuels. Ce phénomène mériterait d'être étudié plus en détail.

| | Conso 1/4/11-31/3/12 (MWh) | Conso moyenne 2007-2010 (MWh) | Evolution |
|---|---|---|---|
| Hôpital | 623 | 806 | -23% |
| Mairie | 92 | 170 | -46% |
| Maternelle | 31 | 58 | -47% |
| SDF | 66 | 85 | -23% |
| **Total** | **811** | **1 120** | **-28%** |

*Tableau 5 : Evolution des consommations des bâtiments publics raccordés au réseau de chaleur depuis 2006*

Enfin, on attirera l'attention sur le fait que rendement de distribution initialement de 85 % (voir graphiques en annexe 2) semble avoir baissé de près de 15 à 20 % (incertitude sur les valeurs de production de chaleur fioul) depuis la mise en service du 3e réseau de chaleur « particuliers ». L'origine de cette baisse de rendement ne peut être expliquée précisément.

### 3.5 Consommation d'électricité par usage

La consommation d'électricité mesurée, puis extrapolée sur une année moyenne se répartit ainsi :

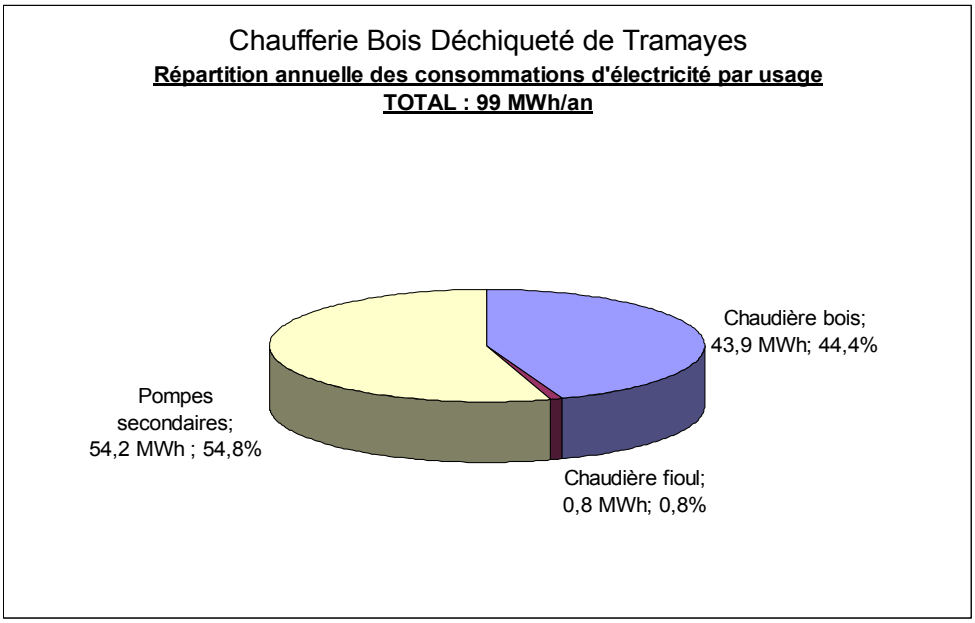



*Figure 5 : Répartition de la consommation d'électricité par usage (MWh)*

| Usage | kWh/an | Euros TTC/an |
|---|---|---|
| Chaudière bois | 43900 | 4 132 € |
| Chaudière fioul | 784 | 69 € |
| Pompes secondaires | 54250 | 4 896 € |
| **TOTAL** | **98934** | **9 097 €** |

*Tableau 6 : Répartition de la consommation d'électricité par usage (kWh)*

Si on se réfère la directive allemande VDI 2067 définissant les modes de calcul de rentabilité de projets de chaufferie et aux valeurs usuelles, la consommation électrique d'une chaufferie collective ne doit pas être supérieure à 1.5 % de la production de chaleur. De même, pour la distribution via un réseau de chaleur, la consommation d'électricité ne doit pas dépasser 1% de la chaleur véhiculée.

**Sur le réseau de chaleur de Tramayes, la consommation d'électricité relative par rapport à la chaleur produite est de :**

- **3 % pour la chaufferie**
- **3.6 % pour le réseau de chaleur**

**Ces valeurs sont 2 à 3 fois plus élevées que les valeurs connues/usuelles pour ce genre de projets.** On notera toutefois qu'il existe très peu d'études basées sur des consommations réelles et à priori aucune étude basée sur des mesures détaillées comme celle réalisée à Tramayes. En annexe 3 sont consignées 2 études réalisées en France et en Allemagne à ce sujet. D'autre part, les comparaisons à des chaufferies existantes de taille similaire (Abbaye de la Pierre qui vire, Communes de Saint Germain l'Herm et de Vassieux en Vercors) n'ont pu aboutir faute de renseignements suffisants sur les données de consommations d'électricité communiquées. On s'en tiendra donc à une analyse intrinsèque de l'installation de Tramayes.

### 3.6 Consommation d'électricité par mois

| mois | Total kWh/an | Coût conso €/an |
|---|---|---|
| 01 | 11023 | 1 379 € |
| 02 | 9911 | 1 240 € |
| 03 | 10350 | 581 € |
| 04 | 9443 | 530 € |
| 05 | 8768 | 492 € |
| 06 | 6232 | 350 € |
| 07 | 4467 | 251 € |
| 08 | 4011 | 225 € |
| 09 | 4138 | 232 € |
| 10 | 9467 | 532 € |
| 11 | 10204 | 573 € |
| 12 | 10921 | 1 367 € |
| **total** | **98934** | **7 753 €** |

*Tableau 7 : Répartition annuelle de la consommation d'électricité (kWh)*

Le tableau précédent nous indique que la consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement de la chaudière et du circuit Hôpital de mi juin à fin août est de 10 711 kWh, représentant un coût de 602 € TTC pour les consommations dont 50% pour la pompe de l'hôpital (avant installation du variateur de vitesse). Pour mémoire, la consommation de chaleur de l'hôpital en été est d'environ 16 500 kWh/mois.

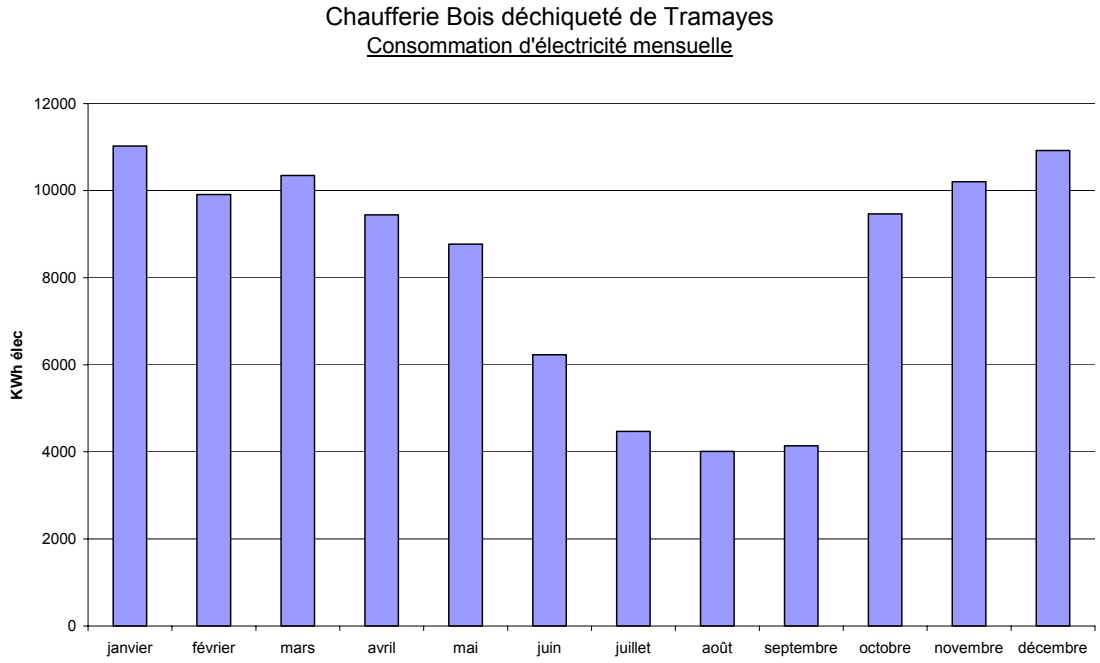



*Figure 6 : Répartition mensuelle de la consommation d'électricité (kWh)*

Le graphique précédent met en lumière qu'en dehors des périodes d'arrêt des 2 circuits de chauffage et éventuellement de la chaufferie, la consommation mensuelle d'électricité varie très peu (maxi 10%) autour de 10 000 kWh. **Ainsi on peut dire que la charge thermique de la chaudière a peu d'impact sur la consommation d'électricité.**

# 4 DETAIL DES CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE

## 4.1 Chaudière Bois plaquettes

Le détail des consommations pour la chaudière bois plaquettes est le suivant :

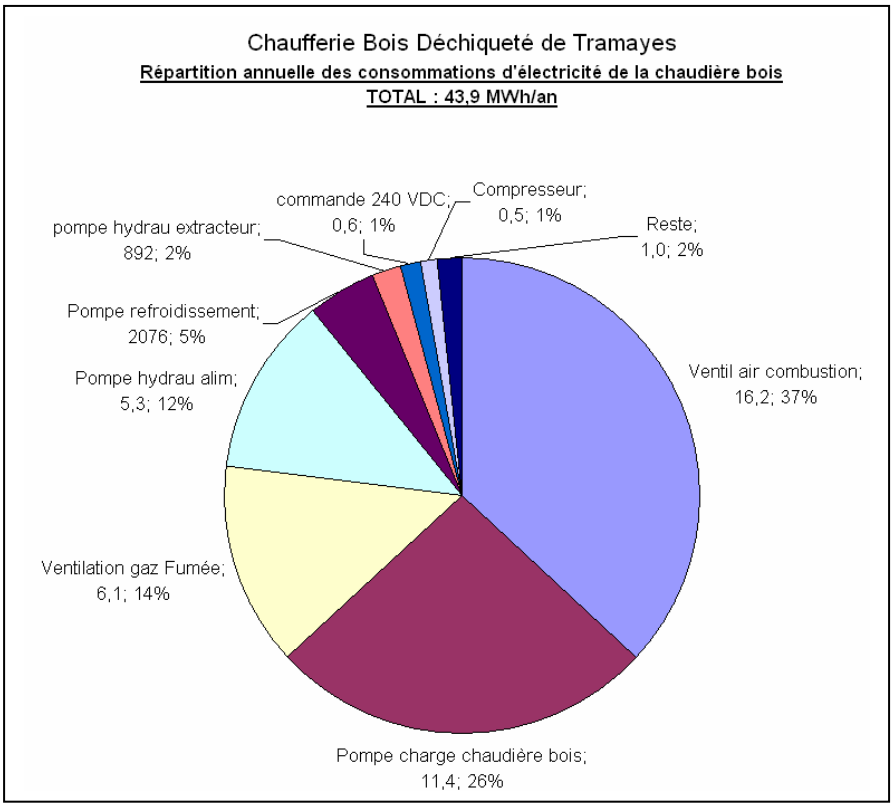



*Figure 7 : Répartition de la consommation d'électricité pour la chaudière bois (MWh)*

| | KWh/an | Total € /an | *dont abonnement* | *dont kWh* |
|---|---|---|---|---|
| Ventil air combustion | 16242 | 1 571 € | *221 €* | *1 351 €* |
| Pompe charge chaudière bois | 11395 | 999 € | 155 € | *844 €* |
| Ventilation gaz Fumée | 6136 | 610 € | 83 € | *527 €* |
| Pompe hydrau alim | 5325 | 515 € | 72 € | *443 €* |
| Pompe refroidissement | 2076 | 182 € | 28 € | *154 €* |
| pompe hydrau extracteur | 892 | 89 € | 12 € | *77 €* |
| commande 240 VDC | 632 | 55 € | 9 € | *47 €* |
| Compresseur | 450 | 39 € | 6 € | *33 €* |
| chaine transport | 356 | 35 € | *5 €* | *31 €* |
| pompe hydrau grille foyer | 170 | 17 € | *2 €* | *14 €* |
| Commande 230 V | 84 | 7 € | *1 €* | *6 €* |
| Ventil/prise/lumière/armoire | 58 | 5 € | *1 €* | *4 €* |
| égaliseur sortie silo | 40 | 4 € | *1 €* | *3 €* |
| vis décendrage inclinée | 28 | 2 € | *0 €* | *2 €* |
| Non défini | 12 | 1 € | *0 €* | *1 €* |
| vis multi décendrage cyclone | 4 | 0 € | *0 €* | *0 €* |
| vis décendrage grille foyer | 0 | 0 € | *0 €* | *0 €* |
| **TOTAL** | **43 900** | **4 133 €** | *596 €* | *3 537 €* |

*Tableau 8 : Répartition des consommations d'électricité de la chaudière bois*

**77 % de la consommation** de la chaufferie est liée à la pompe de charge chaudière et aux 2 ventilateurs d'air de combustion et d'extraction de fumée.

La **pompe de charge chaudière** (Grundfoss TPD 80-120/2, 1.5 kW) fonctionne en permanence lorsque la chaudière est en marche. Contrairement à la pompe de charge chaudière fioul, elle ne dispose par de 3 vitesse de fonctionnement réglables manuellement par l'utilisateur.

Le **ventilateur air combustion** alimente le foyer en air primaire et les fumées en sortie de foyer en air secondaire afin de réaliser une double combustion (bois + fumées). Le débit d'air est commandé par des clapets d'air en fonction du régime de charge de la chaudière. On constate sur la Figure 3 que la puissance du ventilateur ne varie pas en fonction de l'ouverture des clapets comme on aurait pu s'y attendre (un débit réduit devrait impliquer une vitesse de rotation et donc une puissance réduite pour le ventilateur). Cette puissance constante d'environ 2800 W (pour une puissance nominale de 4000W) augmente seulement lorsque le ventilateur extraction fumées (à vitesse variable, cf ci-dessous) monte en puissance pour atteindre 3450 W. Ceci s'explique dans ce cas par l'augmentation du débit d'air.
A bas régime le ventilateur air combustion se met en route et s'arrête fréquemment.

Le **ventilateur extraction gaz fumées** d'une puissance nominale de 5500 W est alimenté par un variateur de vitesse piloté sur la base du maintien d'une dépression de 6 à 11 Pa en sortie de foyer. La consigne minimale est de 820 W et la puissance maximale observée lors des mesures (moyenne 10 min.) a été de 3400 W début février pendant la vague de froid. On constate ainsi qu'entre le bas régime de fonctionnement et la pleine puissance de la chaudière, la puissance du ventilateur varie d'un facteur 4, ce qui correspond à une variation de débit d'extraction d'un facteur compris entre 1 et 2.

La **pompe hydraulique alimentation** représente 12 % de la consommation électrique de la chaudière et correspond au vérin hydraulique permettant d'introduire les plaquettes dans le foyers une fois qu'elles ont été amenées depuis le silo par la chaîne de transport. Elle fonctionne globalement en même temps que les ventilateurs air combustion/extraction gaz fumées de la chaudière. Elle a une puissance de 1000 W lorsque le ventilateur extraction gaz fumées est à bas régime et peut atteindre 1500 W par grand froid pour les haut régimes de fonctionnement de la chaudière.

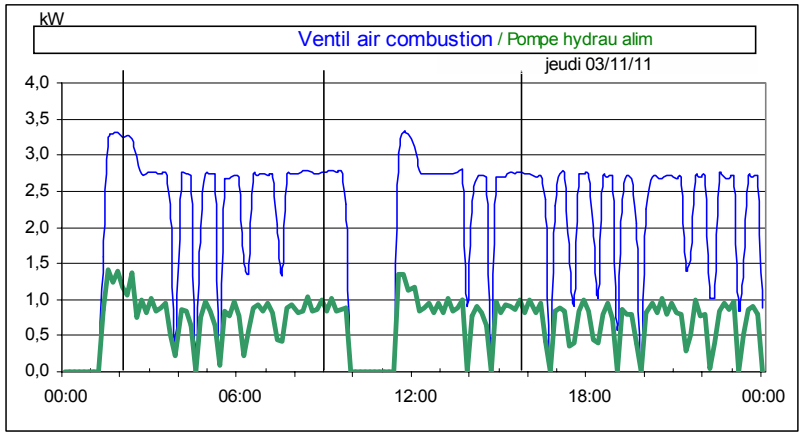



*Figure 8 : Courbe de charge type Pompe Hydraulique Alimentation chaudière*

La Pompe de refroidissement représente 5 % de la consommation électrique de la chaudière. Elle fonctionne de façon permanente et a une puissance de 275 W.
Le reste des organes représente 6 % des consommations d'électricité de la chaufferie et ne sera pas étudié en détail.

### 4.2 Pompes secondaires

On considère ci-après la consommation de la pompe du circuit hôpital avant mise en place du variateur de fréquence. La consommation des pompes secondaires représente 55 % de la consommation d'électricité du site.

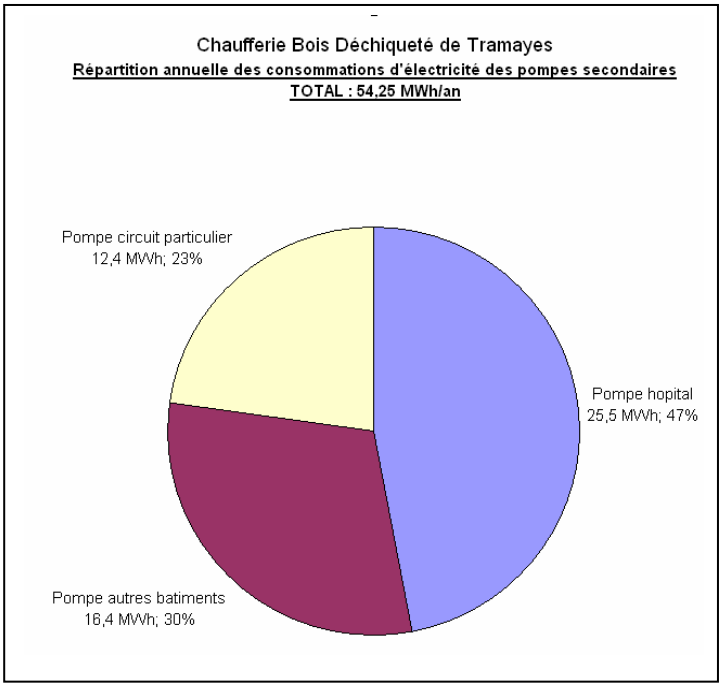



*Figure 9 : Répartition de la consommation d'électricité pour les pompes secondaires (kWh)*

| | Consommation | | | | | *Puissance (W)* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KWh/an | % | € /an | *dont abo.* | *dont kWh* | *Nominale* | *Effective* |
| Pompe hôpital | 25460 | 47% | 2 232 € | 346 € | 1 886 € | *3000* | *3055* |
| Pompe autres bâtiments | 16395 | 30% | 1 517 € | 223 € | 1 294 € | *2200* | *2608* |
| Pompe circuit particulier | 12395 | 23% | 1 147 € | 168 € | 978 € | *3000* | *1858* |
| **TOTAL** | **54 250** | 100% | **4 896 €** | *737 €* | *4 159 €* | | |

*Tableau 9 : Répartition des consommations d'électricité des pompes secondaires*

On constate que la puissance réelle de la pompe hôpital correspond à la puissance nominale indiquée sur les plans et sur le corps de pompe. Selon les relevés de débit sur le compteur de chaleur hôpital, elle assure un débit d'environ 30 m3/h conforme aux données constructeur.
La puissance de la pompe circuit autre bâtiment est 15% supérieure à celle indiquée sur les plans (DOE). Elle assure un débit de l'ordre de 12-13m3/h soit 60% du débit prévu sur le DOE. Il est probable qu'une pompe plus puissante que prévue ait été installée mais qu'avec les pertes de charges constatées sur ce circuit, le débit et donc la puissance absorbée soient ainsi limitées.
A l'inverse, la puissance absorbée sur la pompe circuit particulier est 40% inférieure à celle indiquée sur le corps de la pompe. Il y a donc probablement plus de pertes de charges que prévu sur ce circuit, ce qui réduit le débit mais conjointement la puissance appelée par la pompe.

# 5 GISEMENT D'ECONOMIES

## 5.1 Pompes secondaires

### *5.1.1 Pompes Hôpital*

Avant le lancement de la campagne de mesure détaillée, la commune de Tramayes avait déjà passé commande pour un système de variation de vitesse pour la pompe du circuit hôpital afin de l'asservir au besoin réel. Cet asservissement se fait sur la base d'un écart de température fixe entre le circuit aller et le circuit retour du départ Hôpital.
Cet écart DT a été fixée à 17°C lors de la mise en service en octobre 2011 et n'a pas été modifié jusqu'au 14/01/12. Pendant cette période, la puissance de la pompe hôpital est restée quasiment constante à 160 W contre 3055 W auparavant, soit une réduction de la consommation de 95% !
Toutefois, l'exploitant s'est rendu compte qu'en décembre et janvier, la chaudière fioul de l'hôpital fonctionnait également assez régulièrement.

Le paramètre DT a été fixé à 10°C le 14/01 vers midi (point ❶), puis à 5°C le 15/01 en milieu de journée (point ❷), avant d'être remis à 10°C le 19/01 (point ❸) étant donné la forte augmentation de consommation électrique que cela a engendré pour la pompe du circuit hôpital. Pour réduire le déclenchement de la chaudière de l'hôpital, l'exploitant a également réduit de 70 à 65°C la température du circuit secondaire côté hôpital.

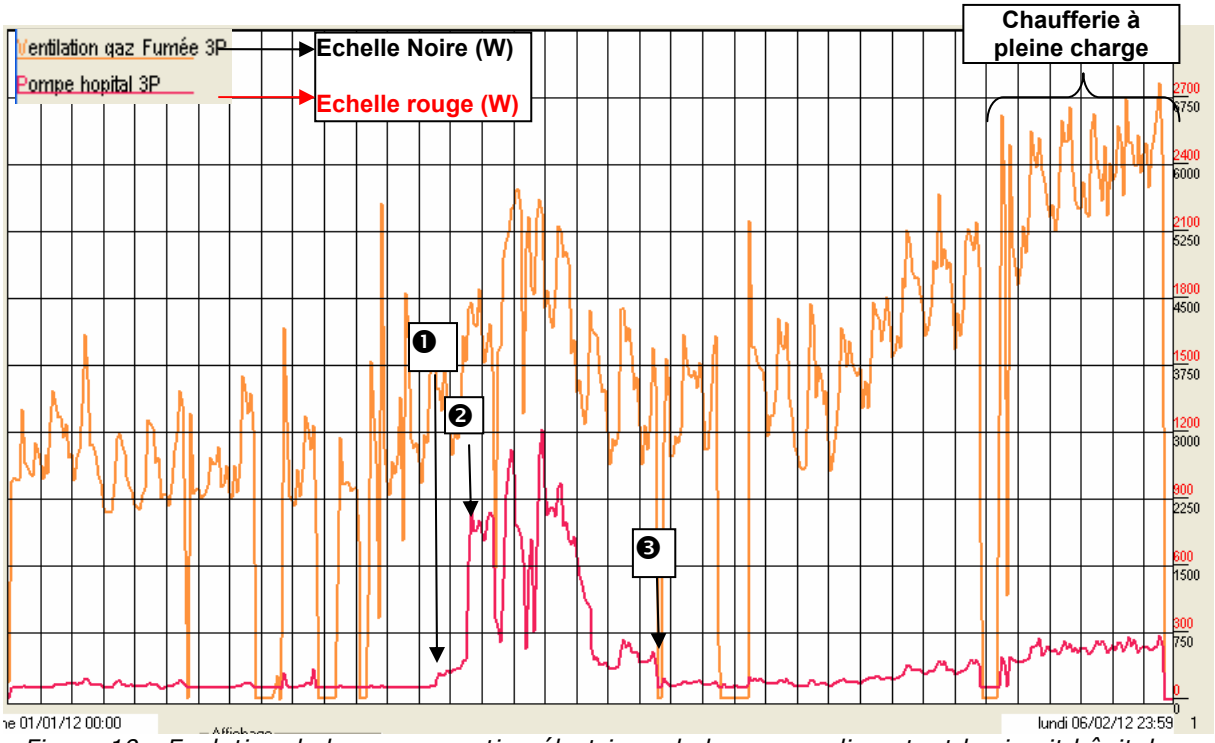



*Figure 10 : Evolution de la consommation électrique de la pompe alimentant le circuit hôpital en fonction du réglage de l'écart de température*

On constate que le réglage DT = 10°C permet de maintenir la consommation de la pompe du circuit hôpital à une valeur inférieure à 750 W même lorsque la chaufferie fonctionne à plein régime (voir graphique précédent). Par ailleurs, la consommation de fioul (Chaudière Hôpital) reste maîtrisée à 2% de la consommation totale de chaleur de l'hôpital et conforme aux valeurs observées

pendant les hivers précédents (1 à 10%) avec la pompe hôpital fonctionnant à plein régime en permanence.

Afin d'annualiser les économies constatées, on définit comme pour les organes de la chaudière bois (Cf. 2.1) une loi empirique permettant de calculer la puissance moyenne journalière de la pompe hôpital avec variateur en fonction de la puissance moyenne journalière du ventilateur gaz fumées (correspondant à la charge de la chaudière et donc de façon indirecte aux besoins thermiques de l'hôpital). On obtient ainsi :

$$P_{Pompe\text{-}hopital} = 0.2325 \times P_{Ventil\text{-}Gaz\text{-}Fumées} \text{ et } P_{Pompe\text{-}hopital} > 156 \text{ W}.$$

Sur la période de mesure du 22/01 au 06/02, cette relation surestime de seulement 5% la consommation réelle de la pompe hôpital. On considère donc qu'elle permet de proposer un calcul réaliste et conservateur de la **consommation annuelle prévisionnelle pour la pompe hôpital de 1722 kWh/an, correspondant à un coût de 186 € TTC/an.**

**L'installation d'un variateur de fréquence sur la pompe du circuit hôpital permet de réaliser une économie annuelle de 23.7 MWh ou 1700 € TTC, soit une réduction d'environ 93% de la consommation et des coûts. Le coût d'installation de 6100 € TTC est amorti en moins de 4 ans.**

### *5.1.2 Pompes Autres bâtiments et circuits particuliers*

L'installation d'un variateur de fréquence sur les pompes des 2 autres circuits est à envisager.
Pour le circuit hôpital, après mise en place du variateur, nous avons constaté sur la période de chauffage (octobre 2011 à avril 2012) un débit moyen de 8 m3 pour le circuit hôpital, soit environ 3 à 4 fois moins que le débit initial générant une consommation annuelle 10 fois inférieure à la consommation initiale.

Pour **le circuit autres bâtiments**, le débit nominal de la pompe est de 13 m3/h. Les besoins de chaleur étant environ 2.5 fois moindre sur ce circuit par rapport à celui de l'hôpital, un débit moyen de l'ordre de 3 m3/h devrait être suffisant avec l'installation d'un variateur de fréquence ; cad un débit 3 à 4 fois moindre que le débit nominal comme pour le circuit hôpital. On en déduit par analogie qu'on doit pouvoir ainsi aussi réduire d'un facteur 10 la consommation de la pompe moyennant l'installation d'un variateur de fréquence asservi sur un écart de température aller-retour de 10 °C. **Le gisement d'économie est estimé à 14.7 MWh/an soit 1100 €/an. Le temps de retour est de l'ordre de 6 ans pour un coût d'installation identique à celui de la pompe hôpital.**

Lors de la mise en œuvre, on pourra optimiser la consommation d'électricité en testant différentes valeurs d'écarts de température (10 à 15°C) entre l'aller et le retour. On veillera à ce que les échangeurs de tous les bâtiments soient bien alimentés et on optimisera si nécessaire l'équilibrage du réseau.

Pour **la pompe du circuit « particuliers »**, on estime le débit nominal à environ 10 m3/h avec un besoin de chaleur égale à presque la moitié de celui observé à l'hôpital. Ainsi, un débit moyen de 4 m3/h devrait permettre d'alimenter correctement le réseau. La réduction de débit de la pompe d'un facteur 2.5 devrait entraîner une réduction moindre de la consommation d'électricité. On l'estime à 60% contre 90% pour les autres pompes : **Le gisement d'économie devrait être 7.4 MWh/an ou 590 € TTC, soit un temps de retour de 10 ans.**

#### *5.1.3 Remplacement par des pompes technologie ECM*

Lors de l'étude des solutions avec variateur de fréquence ou du remplacement nécessaire des pompes en fin de vie, il est suggéré de s'orienter vers des pompes de technologie ECM (Electronically Commuted Motor) qui sont plus efficaces et permettent de respecter les standards d'efficacité européens IE3 voire IE4 qui seront obligatoires pour toute pompe commercialisée à partir de 2017. Outre leur meilleure efficacité par rapport aux pompes équipées de moteurs asynchrones, leur avantage est qu'elles intègrent une entrée 0-10 V et ne nécessite pas l'emploi d'un variateur de fréquence externe pour être pilotée en variation de vitesse. On citera chez les principaux fabricants les modèles suivante : Grundfoss Magna 3, Wilo Strato Pico, Salmson Ixens ou Sirius.

### 5.2 Chaudière Bois

#### *5.2.1 Ventilateur air Combustion*

La régulation actuelle du débit d'air primaire et secondaire est assurée par des clapets d'air qui ont peu d'influence sur la puissance des ventilateurs. Cette régulation pourrait toutefois être assurée par une variation de vitesse du ventilateur, les clapets d'air étant simplement conservés comme organe de sécurité pour ouvrir ou fermer l'arrivée d'air.

On estime que cette action peut générer une **économie d'au moins 4900 kWh/an, soit 400 €/an, soit 30 % de la consommation actuelle**.

Selon le fabricant Schmid, une telle solution pourrait être mise en œuvre pour environ 2500 € TTC, soit un temps de retour d'environ 6 ans.

Les ventilateurs centrifuges employés (2000 m3/h, 2400 Pa) ont un bon rendement. Leur remplacement de devrait pas permettre d'atteindre un gain significatif de consommation (quelques pourcents au maximum).

#### *5.2.2 Ventilateur gaz fumée*

Une piste d'économie consisterait à réaliser des tests en réduisant la consigne minimale du variateur de fréquence.

Comme pour le ventilateur air combustion, les ventilateurs centrifuges employés ont un bon rendement. Leur remplacement de devrait pas permettre d'atteindre un gain significatif de consommation (quelques pourcents au maximum).

### *5.2.3 Pompe charge chaudière bois*

A priori, on ne peut pas jouer sur le débit du circuit primaire d'une chaudière car il est nécessaire de maintenir un flux d'eau élevée dans l'échangeur lorsqu'il y a production de chaleur. Par ailleurs, la régulation de la chaudière se fait en fonction des besoins de chaleurs calculés sur la base de l'écart de température entre le départ et le retour du circuit primaire. En faisant varier la vitesse, on compliquerait la régulation.

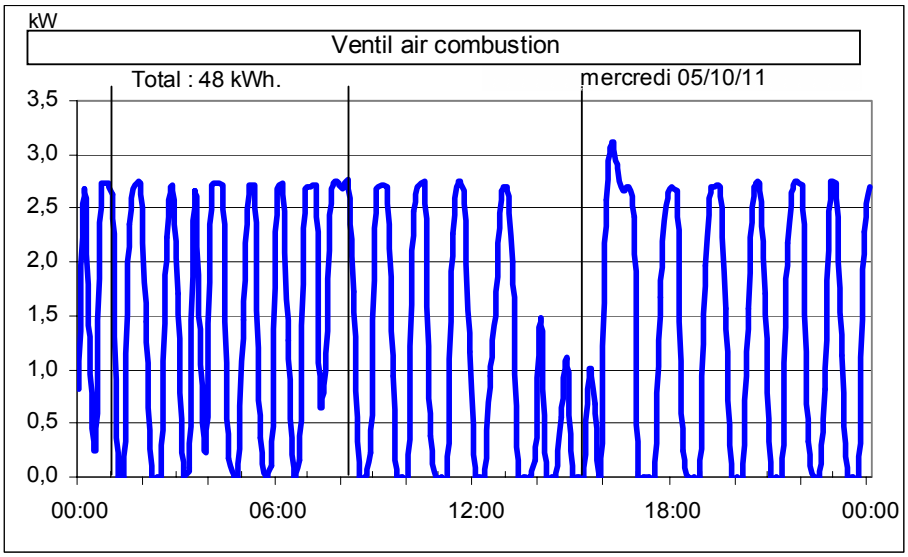



*Figure 11 : Courbe de charge ventilateur Combustion en mi saison indiquant que la chaudière bois fonctionne moins de 50% du temps de début juin à fin septembre.*

Toutefois, un gisement est disponible en mi saison de début juin à fin septembre. En effet, on constate (Cf. Figure 11) pendant cette période que la chaudière fonctionne mois de 50% du temps. Par conséquent, il serait simple de **commander l'arrêt de la pompe** pendant au moins 25% du temps (une fois que l'écart de température entre l'aller et le retour du circuit primaire est proche de zéro, avec une **temporisation de quelques minutes**). **Cette solution permettrait de réduire la consommation annuelle de 900 kWh, soit une économie de 50€/an.** Cette action nécessite simplement une modification de la programmation de l'automate.

On pourrait par ailleurs envisage le remplacement de la pompe par un modèle plus performant type ECM (Cf. 5.1.3).

### *5.2.4 Autre organes*

L'arrêt de la pompe de refroidissement à faible charge ou à mi charge pourrait permettre de réduire la consommation de 200 kWh/an.

L'optimisation éventuelle du circuit hydraulique d'alimentation (12% de la consommation électrique de la chaudière, 5325 kWh/an, 515 €/an) devra être étudiée avec le fabricant Schmid.

# 6 BILAN

Cette étude a mis en évidence que la chaufferie comunnale Bois Plaquettes de Tramayes consomme en électricité l'équivalent de 6.6% de sa production de chaleur, soit 2 à 3 fois la consommation estimée selon les valeurs de références utilisées (VDI 2067) pour calculer l'économie de ce type de projet. Soit pour 1360 MWh de chaleur produite à partir de la chaudière bois, un total de 98.1 MWh, dont :

- 43.9 $MWh_{élec}$ pour la chaudière bois,
- 54.2 $MWh_{élec}$ pour les 3 réseaux de chaleur

Ce résultat est toutefois à relativiser étant donné qu'il n'existe à notre connaissance à ce jour pas d'études significatives basées sur des consommations réelles (Cf. études en annexe 3). Par ailleurs, la comparaison avec d'autres chaufferies de taille similaire est difficile sur la base de relevés de consommations sommaires et sans pouvoir les visiter et procéder à quelques mesures de consommations (notamment pour séparer la consommation de la chaufferie du réseau de chaleur).

Les gisements principaux mis en évidence par l'étude concernent l'installation de variateurs de vitesse sur les pompes des 3 circuits de chauffage. Ce gisement est estimé à 45.8 MWh/an et 3400 € TTC/an, soit une réduction de 85 % de la consommation actuelle du réseau de chaleur pour un budget d'installation estimé à 18 000 € TTC.

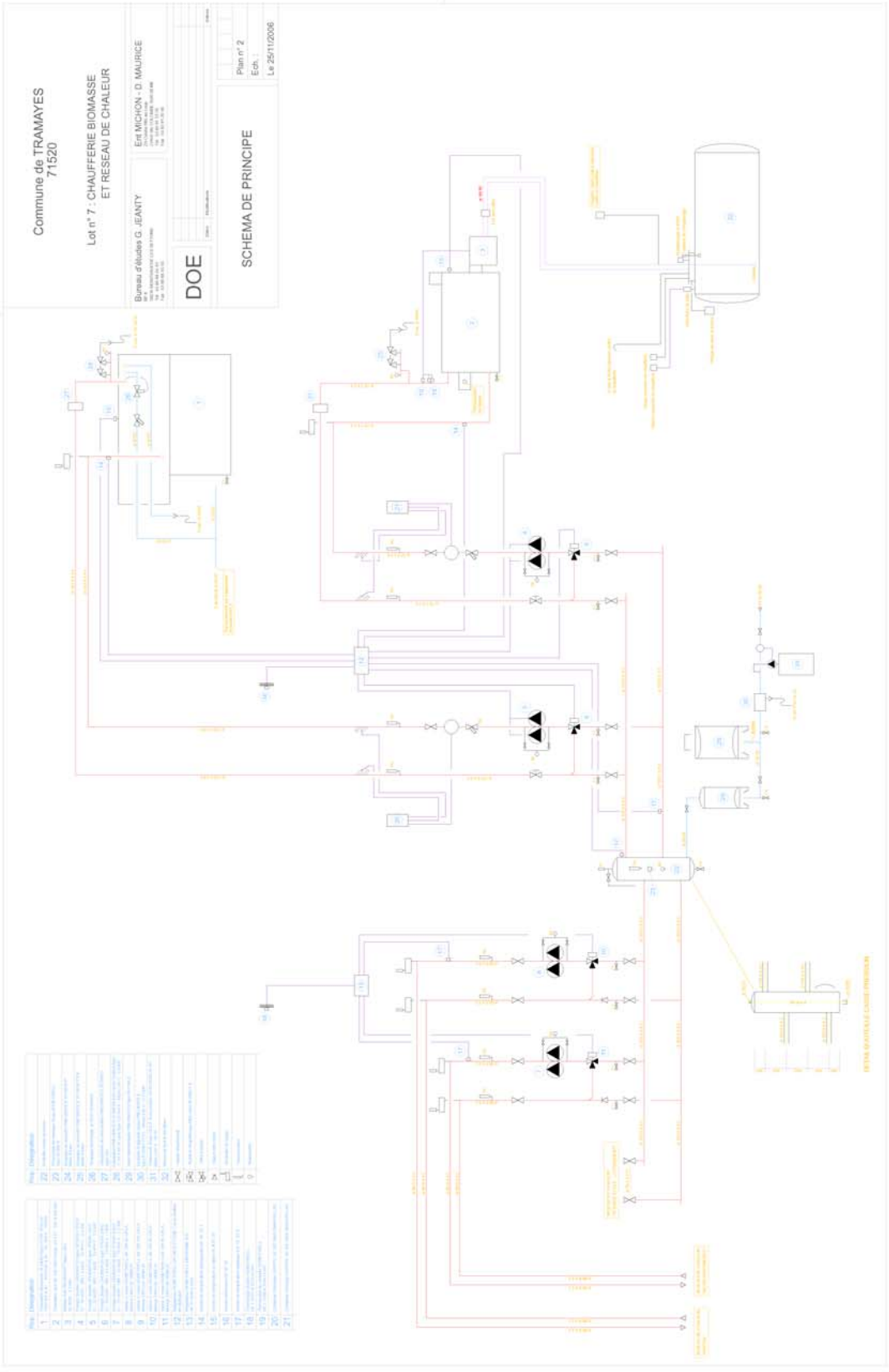
Sur la chaudière, le gisement principal d'économie réside dans l'installation d'un variateur de fréquence sur le ventilateur combustion et éventuellement dans l'optimisation du débit minimum d'extraction gaz fumées.

De façon plus marginale, l'arrêt temporisé de la pompe primaire chaudière et éventuellement de la pompe de refroidissement permettrait de réduire la consommation de 1100 kWh/an.

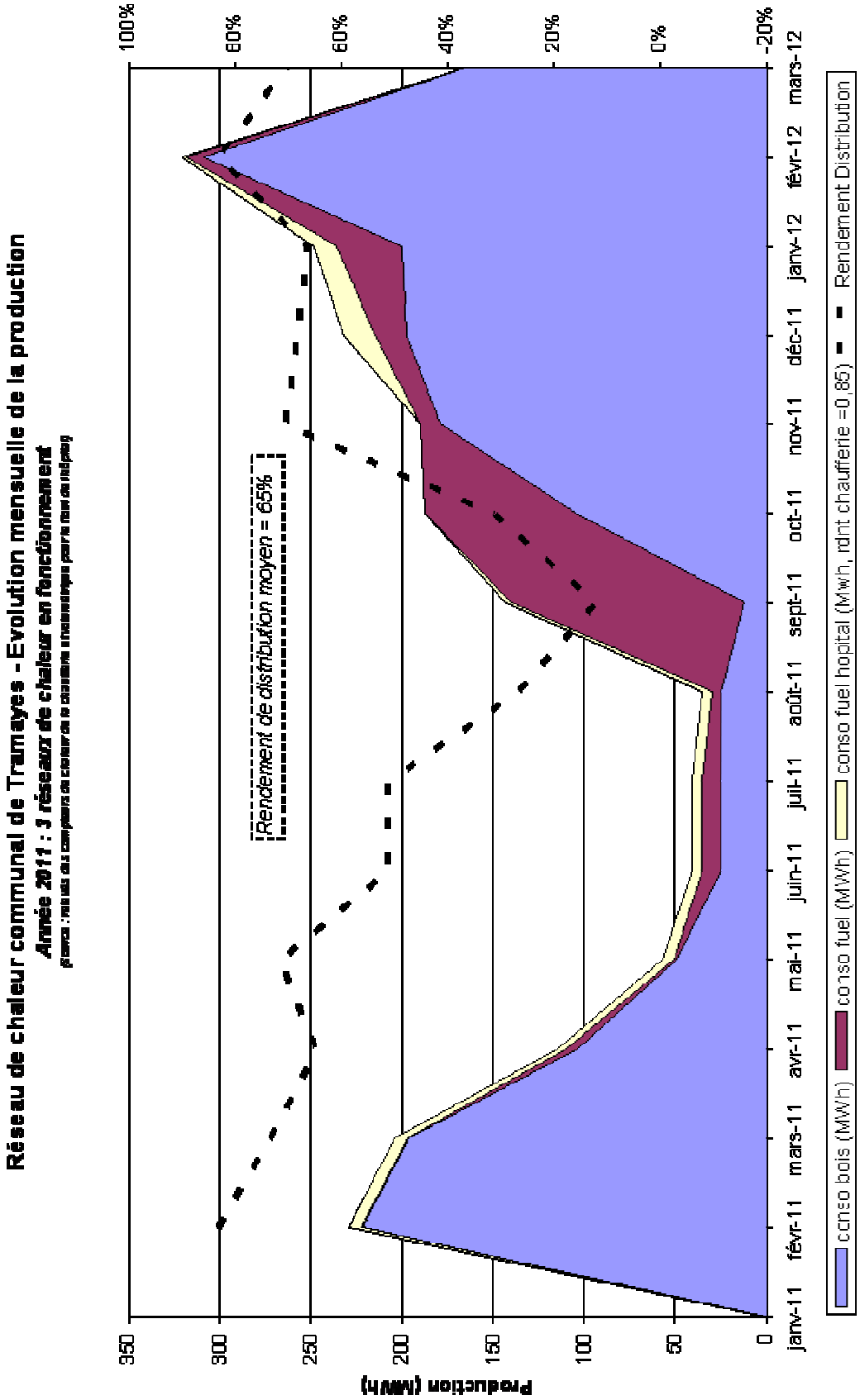
Globalement le gisement d'économie sur la chaudière bois est estimé à 6000 kWh/an, ou 450 €/an, soit une réduction de 13 % de la consommation actuelle pour un budget estimé à 2 500 € TTC, hors modification de la programmation de l'automate.

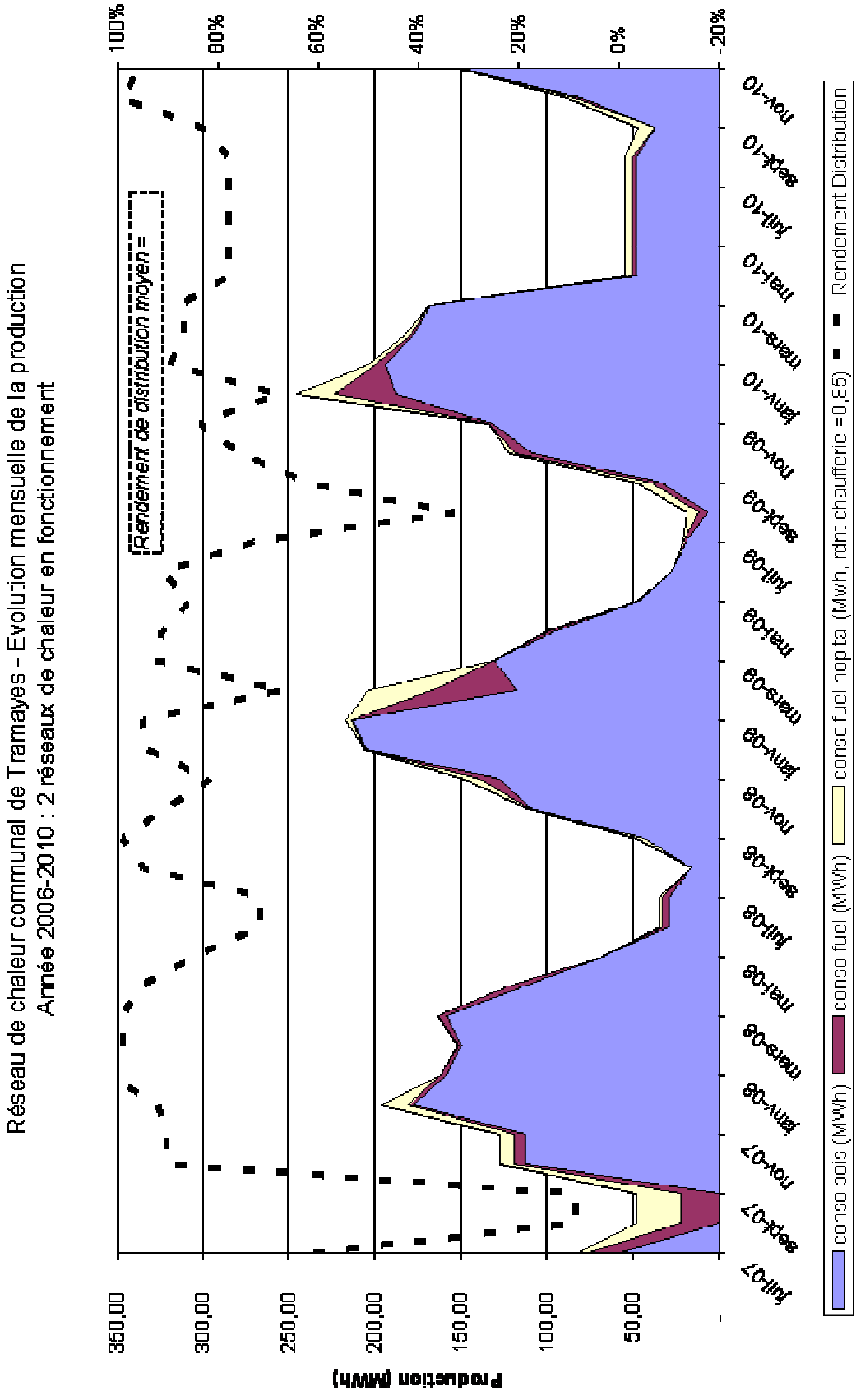
Enfin, on rappelle que le rendement de distribution est passé de 85% à 65 % depuis la mise en service du 3$^{e}$ circuit réseau de chaleur. Il est préconisé de réaliser un suivi hebdomadaire des consommations (compteurs de chaleurs en chaufferie et niveau de fioul des 2 chaudières) et des consommations de tous les consommateurs afin de cerner l'origine de cette dérive. Dans ce cadre on vérifiera notamment le compteur de chaleur fioul de la chaufferie qui semble surestimer les consommations de fioul.

# ANNEXE 1


Commune de TRAMAYES
71520
Lot n° 7 : CHAUFFERIE BIOMASSE
ET RESEAU DE CHALEUR
Bureau d'études G. JEANTY
Ent MICHON - D. MAURICE
DOE
SCHEMA DE PRINCIPE
Plan n° 2
Ech. :
Le 25/11/2006

# ANNEXE 2


Réseau de chaleur communal de Tramayes - Evolution mensuelle de la production
Année 2011 : 3 réseaux de chaleur en fonctionnement
Rendement de distribution moyen = 65%
Production (MWh)
conso bois (MWh)
conso fuel (MWh)
conso fuel hopital (Mwh, rdmt chaufferie =0,85)
Rendement Distribution
janv-11
févr-11
mars-11
avr-11
mai-11
juin-11
juil-11
août-11
sept-11
oct-11
nov-11
déc-11
janv-12
févr-12
mars-12
0
50
100
150
200
250
300
350
-20%
0%
20%
40%
60%
80%
100%


Réseau de chaleur communal de Tramayes - Evolution mensuelle de la production
Année 2006-2010 : 2 réseaux de chaleur en fonctionnement
Rendement de distribution moyen =
Production (MWh)
350,00
300,00
250,00
200,00
150,00
100,00
50,00
-
100%
80%
60%
40%
20%
0%
-20%
juil-07
sept-07
nov-07
janv-08
mars-08
mai-08
juil-08
sept-08
nov-08
janv-09
mars-09
mai-09
juil-09
sept-09
nov-09
janv-10
mars-10
mai-10
juil-10
sept-10
nov-10
conso bois (MWh)
conso fuel (MWh)
conso fuel hop ta (Mwh, rdnt chaufferie =0,85)
Rendement Distribution